

DE 767861

Title: Electron optical super microscope

Inventor: Hans Mahl

Applicant: Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft

Publication date: December 10, 1953

Electron microscopes with either magnetic or electrical lenses are known from the art. Electron microscopes with magnetic lenses have already outbalanced optical microscopes in terms of resolution. However, no electron microscopes with electric lenses are known that beat the resolution of optical microscopes. This has even lead to a prejudice amongst experts, according to whom the realisation of an electric microscope with a higher resolution than an optical microscope – hence, an electrical super microscope – should be impossible.

Contrary to this prejudice, the present invention allows for the realisation of an electrical super microscope. According to the invention, this is achieved by using only lenses with high electrical strength for the magnified imaging of the object, in which the isolation gap between succeeding lens electrodes is preferably large, e.g. by interposing cylinders of insulating material, preferably made from glass or porcelain, and in which the two outer electrodes 9, 15 or 17, 22 and the respective middle electrode 11 or 19 are converged in the middle section comprising the aperture holes, e.g. by disposing tubular shaped appendages 8, 14 or 16, 21.

The invention is explained below in greater detail by means of an embodiment of the invention and the accompanying figures. Fig. 1 shows an electrical electron microscope having a vertical axis. Starting from the top, in an isolation cylinder 1 there is a pointed cathode 2 surrounded by a Wehnelt cylinder 3. Arranged in front of these is the anode cylinder 4 which is concluded by an aperture 5, which serves at the same time as the termination of cylinder 1 and of the following metal cylinder 6. Between the metal cylinder 6 and the aperture 5 is a rubber seal (not shown), which allows for the dismantling of the previously described upper part from the lower part, e.g. to exchange the cathode. Cylinder 6, which carries the cylindrical appendage 8 with the electron aperture 9 in a manner which will be described in greater detail, is followed by isolation cylinder 10, which is concluded by electrode 11. Electrode 11 bears on isolation cylinder 12, which is followed by a metal cylinder 13. This metal cylinder 13 carries, in a similar manner to previously described cylinder 6, a tubular appendage with an aperture opening 15, which is not visible in the figure due to its size. Besides this electrode, an appendage 16 is disposed on cylinder 13, which is

provided with an aperture opening 17. Cylinder 13 is followed by isolation cylinder 18 which is surrounding appendage 16. The isolation cylinder 18 is concluded by an electrode 19, which bears on a further isolation cylinder 20. At the rim of cylinder 20, a tubular appendage 21 with an aperture 22 is mounted. The whole assembly previously described rests on a metal cylinder 23, which is for example concluded by a plate 24 provided with a luminous material. Instead, naturally means for photographic exposure of the electron image developing in plane 24 may be applied, particularly for photographic imaging in a vacuum (contact photography). By means of a tubular appendage 25, which may be concluded by a plane window or a magnifying glass, it is possible to directly observe the picture on the luminescent screen. The voltages necessary for the operation of the microscope, if for reasons of simplification the cathode voltage is regarded to be zero and the voltage of anode 4 to be high voltage, are simply the following: Aperture 9, which simultaneously serves as an object holder, has high voltage so that the electrons penetrate the object with the high speeds required for a high resolution. Together with aperture 11 and aperture 15, aperture 9 forms a single lens, i.e. 15 as well as 9 have high voltage, whereas the voltage of 11 is zero. Because the entrance opening of the single lens is concluded by the object, it does of course not function as the known single lens, but rather as an immersion lens with an initially decelerating field. The same electric potential as of the last electrode 15 of the first single lens is shared by the first (17) and the last electrode (22) of the following single lens, whose middle electrode has again zero voltage. One sees clearly, that the disclosed electron microscope allows for extraordinary simple operation, because apart from the voltage of the Wehnelt cylinder, only two voltages are required in practice. Thus, the use of a voltage divider can be avoided. If need be, the voltages of apertures 11 and 19 described to be zero might be corrected by small additional voltages.

In an electron microscope, particular attention has to be paid to the possibilities of the adjustment of the lenses. Furthermore, a respective adjustment means has to be provided for the object holder, if one intends to adjust to different areas of the object. To this end, appendage 8 with aperture 9 is provided with a plate 26 at its upper end, and respectively appendage 14 at its lower end with a plate 27 (see Fig. 2, where this part of the microscope is shown). Plates 26 and 27 are not rigidly connected to cylinders 6 and 13, which form a part of the vessel's wall, but are provided shiftable or tiltable with respect to those. They bear on two or more wedges or discs, which are offset against each other. In case of wedges, these are shiftable, in case of the discs these are eccentrically rotatable. According to the figures, there are two screws 28 provided for plate 26 and two screws 29 are provided for plate 27. These

screws are of course not opposite to each other as schematically shown in Fig. 1, but offset by an arbitrary, different angle. According to Fig. 2 and 3, the screws are offset by 90° with respect to each other, and opposite to them a block 34, which bears on disc 35, is disposed on the bisecting line.

When turning screws 29, plate 27 is tilted to a greater or lesser extent by means of the excentric discs 33, which leads to an adjustment of aperture 15. Adjustment of plate 26 is carried out similarly. Under certain circumstances, namely if the weight of the electrodes does not suffice to effectuate a safe bearing, it may be desirable to provide special springs 30 (Fig. 1) to bear down the plates on the base.

Figures 2 and 3 show that both the electrodes and the auxiliary parts, like disc 35, are provided with holes (see also holes 32 in Fig. 1). This allows for a sufficient evacuation of the discharge vessel, which would not be possible by means of the small openings of the apertures alone.

According to Fig. 1, aperture 17 is provided with a luminous layer 31 on the side which is directed towards the arriving electrons. This allows for previous adjustment of the image section to be produced by the second electron lens (17, 19, 22).

The screws or wedges used for adjustment of the electrodes may be provided in a manner known from the art. It is also possible to use grounds instead of screws. Moreover, the screws or wedges may be suitably provided according to the known art to allow for precision adjustment. It goes without saying that all known precaution measures to avoid sparkovers should be applied for the electrodes, particularly by avoiding sharp edges or tips. The connection of the insulating parts of the vessel to metal parts of the vessel may be provided in a manner known from the art. While the application of glass as an insulating material has the advantage, that all parts of the vessel are constantly visible from the outside, the use of porcelain has advantages regarding aspects relating to production and vacuum. Of course, other insulating materials can be used as well, particularly ceramic synthetic materials. Apparently, the use of tubular appendages for the electrodes has the advantage, that the insulation gaps between the electrodes, which have a high voltage with respect to each other, are significantly enhanced. For example, between the inherently adjacent electrodes 9 and 11, insulating cylinder 10 is disposed as an implication of cylinder 8. This insulating cylinder 10 constitutes a considerable insulation gap (the figures show a scale reproduction of an embodiment of the invention).

## CLAIMS

1. Electron optical super microscope, characterised in that only electrical lenses of high electric strength are applied in the magnified imaging of the object, wherein the insulation gap between succeeding lens electrodes is dimensioned to be preferably large, e.g. by interposing cylinders of insulating material, preferably made from glass or porcelain, and wherein the two outer electrodes (9, 15 or 17, 22) and the respective middle electrode (11 or 19) are converged in the middle section surrounding the aperture holes, e.g. by means of the disposal of tubular shaped appendages (8, 14 or 16, 21).
2. Electron optical super microscope according to claim 1, characterised in that one or more of the electrodes are adjustable from the outside in order to tweak the apparatus.
3. Electron optical super microscope according to claim 2, characterised in that in the tube, which is applied with an axis in a vertical direction, one or more of the electrodes suspended with tubular appendages are attached to shiftable or tiltable plates (26, 27), which are on their part suspended by fasteners disposed between the insulating cylinders.
4. Electron optical super microscope according to claim 3, characterised in that the plates are tiltable via excentricly turnable discs offset with respect to each other.
5. Electron optical super microscope according to claim 3, characterised in that the plates are tiltable via shiftable wedges offset with respect to each other.

To delimit the invention from the prior art, the following documents were cited in the proceedings:

Austrian Patent Nr. 137 611;

Physikalische Zeitschrift, volume 34, 1933, p. 671/672;

Archiv für Elektrotechnik, 28, 1934, p. 1 – 8.

Erteilt auf Grund der VO. vom 12.5.1943 — RGBI. II S. 150



AUSGEGEBEN AM  
29. MÄRZ 1954

REICHSPATENTAMT

# PATENTSCHRIFT

Nr. 767 861

KLASSE 21g GRUPPE 3701

L 97110 VIIIc/21g

Nachträglich gedruckt durch das Deutsche Patentamt in München

(§ 20 des Ersten Gesetzes zur Änderung und Überleitung von Vorschriften  
auf dem Gebiet des gewerblichen Rechtsschutzes vom 8. Juli 1949)

Dr.-Ing. Hans Mahl, Berlin-Reinickendorf

ist als Erfinder genannt worden

Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin-Grunewald

## Elektronenoptisches Übermikroskop

Patentiert im Deutschen Reich vom 14. Februar 1939 an

Der Zeitraum vom 8. Mai 1949 bis einschließlich 7. Mai 1950 wird auf die Patentdauer nicht angerechnet  
(Ges. v. 15. 7. 51)

Patenterteilung bekanntgemacht am 10. Dezember 1953

Es sind Elektronenmikroskope bekannt, und zwar solche mit magnetischen und auch solche mit elektrischen Linsen. Bei Elektronenmikroskopen mit magnetischen Linsen

- 5 ist es bereits gelungen, das Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops zu überschreiten. Dagegen sind bisher keine elektrischen Elektronenmikroskope bekanntgeworden, mit denen Auflösungen erzielt werden sind, 10 welche über diejenige des Lichtmikroskops hinausgehen. Dieses hat sogar dazu geführt, daß sich in der Fachwelt ein Vorurteil gebildet hat, daß die Verwirklichung eines elek-

trischen Elektronenmikroskops mit übermikroskopischem Auflösungsvermögen, also 15 eines elektrischen Übermikroskops, unmöglich sei.

Die Erfindung ermöglicht nun entgegen dem allgemeinen Vorurteil die Verwirklichung eines elektrischen Übermikroskops. 20 Nach der Erfindung wird dieses dadurch erreicht, daß zur vergrößernden Abbildung des Objekts ausschließlich elektrische Linsen hoher Spannungsfestigkeit dienen, bei denen der Isolationsweg zwischen den aufeinanderfolgenden Linsenelektroden möglichst groß 25

bemessen ist, beispielsweise durch Zwischenfügung von Isolierstoffzylindern, vorzugsweise aus Glas oder Porzellan, und bei denen die beiden Außenelektroden 9, 15 bzw. 17, 22 und die zugehörige Mittelelektrode 11 bzw. 19 im mittleren, die Blendenlöcher umgebenden Bereich, beispielsweise durch Anbringung von rohrförmigen Ansätzen 8, 14 bzw. 16, 21, einander genähert sind.

Die Erfahrung sei an Hand der Figuren an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. Fig. 1 zeigt zunächst ein elektrisches Elektronenmikroskop, dessen Achse vertikal steht. Von oben anfangend befindet sich in einem Isolierzylinder 1 eine Spitzenkathode 2, die von einem Wehneltzylinder 3 umgeben ist. Davor befindet sich der Anodenzyylinder 4, der mit einer Blende 5 abgeschlossen ist, die gleichzeitig als Abschluß des Zylinders 1 und des folgenden Metallzyinders 6 dient. Zwischen dem Metallzyinder 6 und der Blende 5 befindet sich eine hier nicht gezeichnete Gummidichtung, die es gestattet, den bisher beschriebenen oberen Teil von dem unteren Teil zu lösen und beispielsweise die Kathode auszuwechseln. An dem Zylinder 6, welcher in noch näher zu beschreibender Weise den zylindrischen Ansatz 8 mit der Elektrodenblende 9 trägt, schließt sich der Isolierzyinder 10 an, der durch die Elektrode 11 abgeschlossen ist. Diese liegt ihrerseits auf einem Isolierzylinder 12, an den sich ein Metallzyinder 13 anschließt, der in ähnlicher Weise wie der bereits beschriebene Zylinder 6 einen rohrförmigen Ansatz 14 mit einer ihrer Kleinheit wegen nicht erkennbaren Blendenöffnung 15 trägt. Außer dieser Elektrode ist an dem Zylinder 13 noch ein Ansatz 16 angebracht, der mit einer Blendenöffnung 17 versehen ist. An den Zylinder 13 schließt sich der den Ansatz 16 umgebende Isolierzyinder 18 an, der wiederum von einer Elektrode 19 abgeschlossen ist, die auf einem weiteren Isolierzyinder 20 sitzt. Am Rande des Zylinders 20 ist ein rohrförmiger Ansatz 21 mit einer Blende 22 befestigt. Die ganze bisher beschriebene Anordnung ruht auf einem Metallzyinder 23, der beispielsweise von einer mit einer Leuchtmasse versehenen Platte 24 abgeschlossen ist. Statt dessen können natürlich auch Vorrichtungen zur photographischen Aufnahme des in der Ebene von 24 entstehenden Elektronenbildes vorgesehen sein, insbesondere zur Aufnahme im Vakuum (Kontaktphotographie). Mittels eines rohrförmigen Ansatzes 25, der von einem planen Fenster oder aber einer Lupe abgeschlossen sein kann, ist die unmittelbare Beobachtung des Luchtschirmbildes möglich. Die beim Betrieb des Mikroskops erforderlichen Spannungen sind, wenn der Kürze halber die Kathoden-

spannung mit Null, die Spannung der Anode 4 mit Hochspannung bezeichnet wird, einfach die folgenden: Die Blende 9, die gleichzeitig als Objektträger dient, liegt auf Hochspannung, so daß die Elektronen das Objekt mit der für ein hohes Auflösungsvermögen erforderlichen hohen Geschwindigkeit durchdringen. Zusammen mit der Blende 11 und der Blende 15 stellt die Blende 9 eine Einzellinse dar, d. h. 15 liegt ebenso wie 9 an Hochspannung, während 11 auf Null liegt. Da die Eingangsoffnung der Einzellinse durch das Objekt abgeschlossen ist, wirkt sie natürlich nicht so wie die bekannte Einzellinse, sondern stellt in Wirklichkeit eine Immersionslinse mit anfänglich verzögerndem Feld dar. Auf gleichem Potential wie die letzte Elektrode 15 dieser ersten Einzellinse liegen die erste (17) und die letzte Elektrode (22) der nun folgenden Einzellinse, deren Mittelelektrode 19 wiederum auf Null liegt. Man erkennt, daß das beschriebene Elektronenmikroskop einen außerordentlich einfachen Betrieb zuläßt, da praktisch, abgesehen von der Spannung des Wehneltzyinders, nur zwei Spannungen erforderlich sind und daher ein Spannungsteiler vermieden werden kann. Gegebenenfalls kann man die mit Null bezeichneten Spannungen der Blenden 11 und 19 durch kleine Zusatzspannungen korrigieren.

Besondere Aufmerksamkeit muß beim Elektronenmikroskop der Möglichkeit einer Justierung der Linsen gewidmet werden. Eine derartige Justierungsmöglichkeit muß überdies für den Objektträger vorgesehen sein, wenn man verschiedene Bereiche des Gegenstands einzustellen will. Zu diesem Zweck ist der Ansatz 8 der Blende 9 an seinem oberen Ende mit einem Teller 26 versehen, entsprechend der Ansatz 14 an seinem unteren Ende mit einem Teller 27 (man vergleiche auch die Fig. 2, in der dieser Teil des Mikroskops noch einmal in Ansicht dargestellt ist). Die Teller 26 und 27 sind nun mit den Zylindern 6 und 13, welche einen Teil der Gefäßwand bilden, nicht starr verbunden, sondern ihnen gegenüber verschiebbar oder kippbar angeordnet. Sie lagern auf zwei oder mehreren gegeneinander versetzten Keilen oder Scheiben, von denen die ersten verschiebbar, die letzteren exzentrisch drehbar sind. Für den Teller 26 sind nach den Figuren zwei Schrauben 28, für den Teller 27 zwei Schrauben 29 vorgesehen, die natürlich nicht, wie es die Fig. 1 schematisch zeigt, einander gegenüberstehen, sondern um irgendeinen anderen Winkel gegeneinander versetzt sind. Nach Fig. 2 und 3 sind die Schrauben um 90° gegeneinander versetzt, während ihnen gegenüber in der Winkelhalbierenden ein Block 34 angebracht ist, der auf einer Scheibe 35 ruht.

Beim Drehen der Schrauben 29 wird durch die exzentrischen Scheiben 33 der Teller 27 mehr oder weniger gekippt und damit eine Justierung der Blende 15 vorgenommen. Ähnliches gilt von der Justierung des Tellers 26. Es kann unter Umständen erwünscht sein, wenn nämlich das Gewicht der Elektroden nicht groß genug ist, um eine völlig sichere Lagerung zu bewirken, noch besondere Federn 30 (Fig. 1) vorzusehen, welche die Teller auf die Unterlage drücken.

Den Fig. 2 und 3 entnimmt man, daß sowohl die Elektroden als auch Hilfskörper, wie die Scheibe 35, mit Löchern versehen sind (vgl. auch die Löcher 32 in Fig. 1). Es wird dadurch ermöglicht, das Entladungsgefäß in hinreichendem Maße zu evakuieren, was allein durch die kleinen Öffnungen der Blenden nicht angängig wäre.

Nach Fig. 1 ist die Blende 17 auf der den ankommenden Elektronen zugewandten Seite mit einer Leuchtschicht 31 versehen. Es ist auf diese Weise möglich, den durch die zweite Linse (17, 19, 22) herzustellenden Bildausschnitt vorher einzustellen.

Die zur Einstellung der Elektroden dienen den Schrauben oder Keile können in der üblichen Weise ausgebildet sein. Es ist möglich, statt der Schrauben auch Schlitze zu verwenden; auch können die Schrauben oder Keile in an sich bekannter Weise für Präzisionseinstellungen geeignet sein. Es versteht sich von selbst, daß man bei den Elektroden alle die an sich bekannten Vorsichtsmaßnahmen zur Vermeidung von Überschlägen anwenden, also insbesondere scharfe Kanten oder Spitzen vermeiden wird. Die Verbindung der isolierenden Gefäßteile mit den metallischen Gefäßteilen kann in an sich bekannter Weise erfolgen. Während die Verwendung von Glas als Isolierstoff den Vorteil bietet, daß alle Teile des Gefäßes jederzeit von außen sichtbar sind, hat die Verwendung von Porzellan andere Vorteile herstellungs- und vakuumtechnischer Natur. Natürlich können auch andere Isolierstoffe, insbesondere die keramischen Kunststoffe, verwendet werden. Man erkennt, daß die Verwendung von rohrförmigen Ansätzen für die Elektroden den Vorteil hat, daß die Isolationswege zwischen den gegenseitig an Hochspannung liegenden Elektroden wesentlich vergrößert werden. So liegt zwischen den an sich benachbarten Elektroden 9 und 11 infolge des Zylinders 8 der Isolierzylinder 10, der einen beträchtlichen Isolationsweg darstellt (die Zeichnungen

stellen maßstabgetreue Wiedergaben eines Ausführungsbeispiels dar).

#### PATENTANSPRÜCHE:

60

1. Elektronenoptisches Übermikroskop, dadurch gekennzeichnet, daß zur vergrößernden Abbildung des Objekts ausschließlich elektrische Linsen hoher Spannungsfestigkeit dienen, bei denen der Isolationsweg zwischen den aufeinanderfolgenden Linsenelektroden möglichst groß bemessen ist, beispielsweise durch Zwischenfügung von Isolierstoffzylindern, vorzugsweise aus Glas oder Porzellan, und bei denen die beiden Außenelektroden (9, 15 bzw. 17, 22) und die zugehörige Mittelelektrode (11 bzw. 19) im mittleren, die Blendenlöcher umgebenden Bereich, beispielsweise durch Anbringung von rohrförmigen Ansätzen (8, 14 bzw. 16, 21), einander genähert sind.

2. Elektronenoptisches Übermikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine, oder mehrere der Elektroden zum Zweck der Justierung von außen einzustellen sind.

3. Elektronenoptisches Übermikroskop nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß in dem mit vertikal stehender Achse zu betreibenden Rohr eine oder mehrere der mit rohrförmigen Ansätzen gehaltenen Elektroden an verschiebbaren oder kippbaren Tellern (26, 27) angebracht sind, die ihrerseits von zwischen den Isolierzylindern angebrachten Haltern getragen werden.

4. Elektronenoptisches Übermikroskop nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Teller mittels gegeneinander versetzter exzentrisch drehbarer Scheiben kippbar sind.

5. Elektronenoptisches Übermikroskop nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Teller mittels gegeneinander versetzter verschiebbarer Keile kippbar sind.

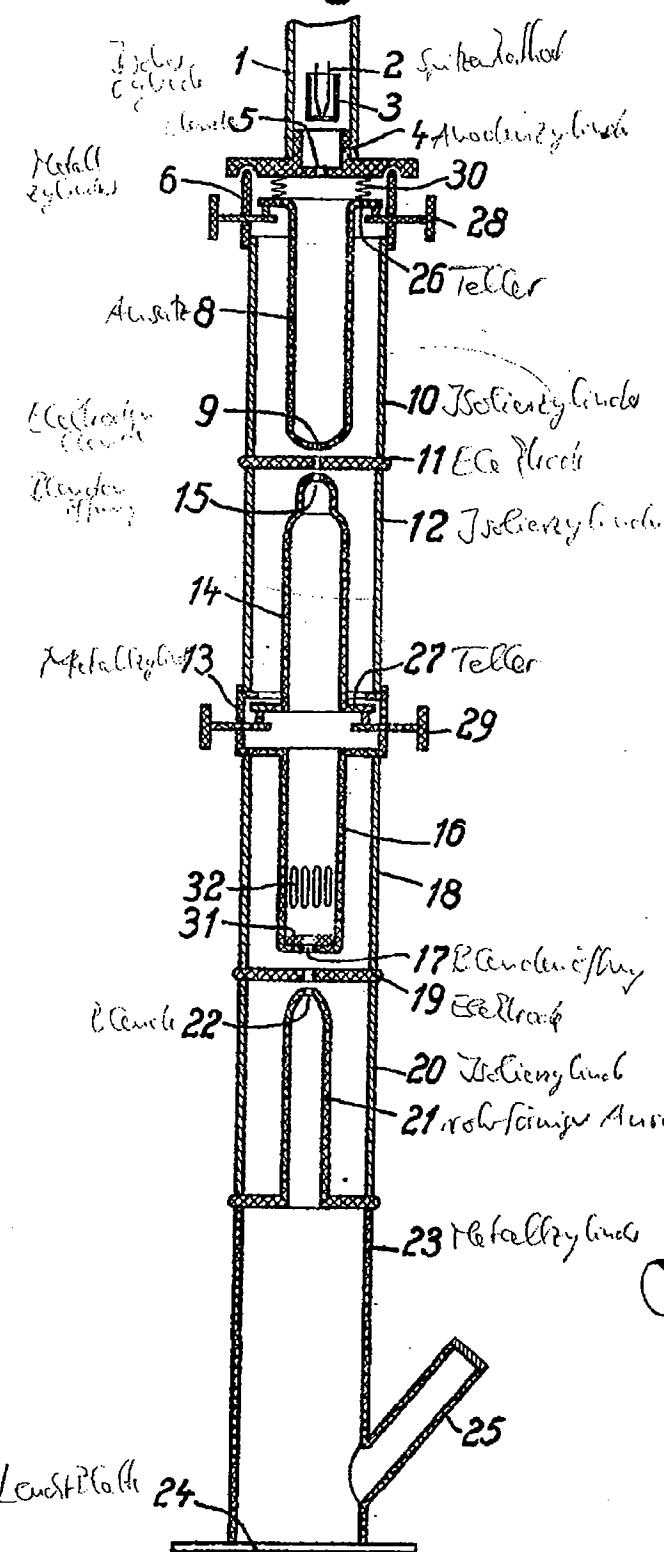
Zur Abgrenzung des Erfindungsgegenstands vom Stand der Technik sind im Erteilungsverfahren folgende Druckschriften in Betracht gezogen worden:

Oesterreichische Patentschrift Nr. 137 611; Physikalische Zeitschrift, 34. Jahrg., 1933, S. 671/672; Archiv für Elektrotechnik, Bd. 28, 1934, S. 1 bis 8.

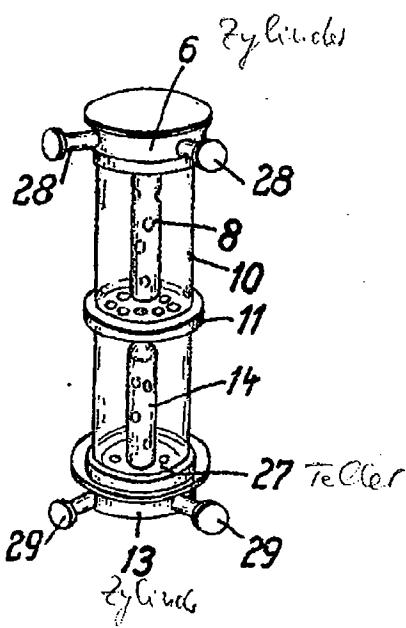
Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

**Fig. 1**

Zu der Patentschrift 767 861  
Kl. 21g Gr. 3701



**Fig. 2**



**Fig. 3**

